

Laserschweißen von härtbarem Stahl

BEST AVAILABLE COPY

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht bezüglich härtbaren Stahl, wobei diese Schweißnaht bevorzugt zur Ausbildung einer fuge-technischen Verbindung von mindestens zwei Komponenten zur Drehmoment-übertragung dient.
- 10 Der Einsatz von Strahlschweißen für Maschinenbauteile aus härtbaren Stählen ist bereits bekannt. Objekte, bei denen ihre Anwendung möglich und zweckmäßig ist, sind alle durch Strahlschweißverfahren fügbare, mechanisch, zyklisch oder dynamisch hoch belasteten Bauteile, die wegen einer lokalen Verschweißbelas-
15 tung zumindest partiell aus härtbaren Stählen bestehen oder die wegen ihrer hohen mechanischen Belastung vergütet sind. Besonders vorteilhaft können Strahl-
schweißverfahren auch im Zusammenhang mit der Herstellung verschiedenster, insbesondere rotationssymmetrischer Kraftübertragungselemente, druckbeauf-
schlagte Hohlkörper, etc. eingesetzt werden. Bevorzugtes Einsatzgebiet ist der Fahrzeug- und Maschinenbau, vorrangig der Automobilbau.
- 20 So genannte Kohlenstoffstähle mit einem Kohlenstoffgehalt von mindestens 0,25 % und niedrig legierte Stähle mit Kohlenstoffgehalten oberhalb von 0,2 % sind nur bedingt konventionell schweißbar (nachfolgend auch als „härtbare Stäh-
25 le“ bezeichnet). Die Ursache dafür besteht in der durch den Kohlenstoff bewirkten und durch verschiedene Legierungselemente verstärkten Aufhärtung in der Schweißnaht und der Wärmeeinflusszone, die zu Rissen führt. Die Aufhärtung und nachfolgende Rissbildung kommt zustande durch die Bildung von nur wenig verformungsfähigem, nicht oder wenig selbst angelassenem Martensit oder Bainit, die nicht in der Lage sind, die während der Abkühlung auftretenden hohen Tran-
30 sientenspannungen plastisch abzubauen.

Während konventionelle Schweißverfahren in der Regel eine relativ niedrige Leistungsdicht aufweisen, die zu relativ kleinen Erwärmungsgeschwindigkeiten, großflächiger Wärmeeinbringung und voluminösen Schweißnähten führen, kann das
5 durch den Einsatz eines Strahlschweißverfahrens wie das Laser- oder Elektronenstrahlschweißen aufgrund der bis zur einigen Größenordnungen höheren Leistungsdichte vermieden werden.

Aus der EP 0 925 140 B1 ist ein Strahlschweißverfahren zum Schweißen von
10 härtbaren Stählen bekannt, wobei neben der Temperatureinwirkung durch das Strahlschweißen selbst zusätzlich eine definierte Vorerwärmung des zu verschweißenden Stahls vorgeschlagen wird. Insbesondere wird eine Kurzzeitwärmebehandlung als alleiniges Vorwärmen durchgeführt. Das wird möglich, wenn die Erwärmungstiefe, die Aufheizdauer, die Spitzentemperatur des Temperatur-
15 Zeit-Zyklus und die Abschreckungsgeschwindigkeit in eng definierten Grenzen gewählt wird. Die Erwärmungstiefe vor Beginn des Strahlschweißens wird dabei so eingestellt, dass sie das 1- bis 5-fache der Schweißnahttiefe erreicht. Als freie Parameter zur Einstellung der Erwärmungstiefe dienen die Energieeinwirkungsdauer selbst, die Induktionsleistung und -frequenz und in geringem Maße die
20 Spitzentemperatur des Vorwärmzyklus. Als bevorzugte Variante ist das Strahlschweißen mittels Laser beschrieben, wobei das Vorwärmen induktiv vorgenommen wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die mit Bezug auf den Stand der
25 Technik beschriebenen technischen Probleme zumindest teilweise zu lindern. Insbesondere ist ein Laserschweißverfahren anzugeben, mit dem härtbare Stähle so bearbeitet werden können, dass eine Rissbildung in Folge der Selbstabschreckung des Stahls zumindest in deutlich reduziertem Umfang auftritt, bevorzugt sogar vollständig vermieden wird. Dabei soll das Schweißverfahren einfach und schnell

durchführbar sein und sich insbesondere auch leicht in eine Serienfertigung mit kurzen Taktzeiten integrieren lassen. Außerdem soll eine Verbindung von Komponenten zur Drehmomentübertragung aus härtbarem Stahl angegeben werden, die insbesondere zur Übertragung von Drehmomenten bzw. Kräften, wie sie im Antriebsstrang eines Automobils auftreten, sicher übertragen kann.

Diese Aufgaben werden gelöst mit einem Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie einer so hergestellten Verbindung von mindestens zwei Komponenten zur Drehmomentübertragung. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen beschrieben. Es ist darauf hinzuweisen, dass die in den Patentansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale in beliebiger, technologisch sinnvoller Weise miteinander kombiniert werden können, und zu weiteren Ausgestaltungen der Erfindung führen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht in härtbarem Stahl umfasst zumindest die folgenden Schritte:

- a) Positionieren eines Laserstrahls zu einer Schweißlinie;
- b) Erhitzen von Teilbereichen des Stahls mittels des Laserstrahls, wobei der Laserstrahl entlang einer Schweißbahn geführt wird, die länger ist als die Schweißlinie;
- c) Abkühlen der erhitzten Teilbereiche des Stahls.

Unter einer „Schweißnaht“ wird ein wiedererstarteter Bereich des härtbaren Stahls beschrieben, der infolge der Temperatureinwirkung durch den Laserstrahl zuvor in einen schmelzförmigen Zustand gebracht wurde. Die Schweißnaht kann weitere Bestandteile aufweisen, insbesondere wenn zur Erzeugung der Schweißnaht ein Zusatzwerkstoff eingesetzt wird.

Die Schweißnaht folgt im wesentlichen einer gewünschten Schweißlinie. Mit „Schweißlinie“ ist also mit anderen Worten der letztendliche Verlauf der Schweißnaht gemeint. Gemäß Schritt a) wird nun der den Laserstrahl erzeugende Laser bzw. der Laserstrahl bezüglich der Schweißlinie positioniert bzw. ausgerichtet. Dabei ist es unerheblich, ob der Laser zu dem Bauteil ausgerichtet wird oder umgekehrt.

Nun wird der Laserstrahl generiert und mit dem härtbaren Stahl in Kontakt gebracht. Dabei erhitzt sich der Stahl im Bereich des Auftreffpunkts des Laserstrahls. Die Energiewechselwirkung bzw. Schmelzwirkung hängt insbesondere von der Laserleistung, Verweildauer des Laserstrahls an einem Ort (so genannte Schweiß- oder Vorschubgeschwindigkeit), der Ausgestaltung des Laserstrahls (z.B. Laserstrahlabmessung, Fokusradius, etc.) und der Leistungsdichteverteilung am Werkstück ab. Die eingesetzten Schutz- und Arbeitsgase sowie deren Zufuhr beeinflusst weiterhin die Ausbildung eines Plasmas und somit auch die Energieeinbringung in das Werkstück.

Nun wird hier vorgeschlagen, dass der Laserstrahl entlang einer Schweißbahn geführt wird, die länger ist als die Schweißlinie. Mit „Schweißbahn“ ist insbesondere der tatsächlich vom Laserstrahl abgefahrene Weg auf der Oberfläche des härtbaren Stahls gemeint. Das bedeutet mit anderen Worten, dass die zum Schweißen erforderliche Streckenenergie durch eine Verlängerung der Schweißbahn bewirkt wird.

Dabei wird die Energie des Laserstrahls bevorzugt so eingestellt, dass ein Tiefenschweißeffekt auftaucht. Die Intensität des Lasers wird somit in einem Bereich von größer 10^6 W/cm^2 [Watt pro Quadratzentimeter], insbesondere in einem Bereich von $1 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$ bis $2 \cdot 10^7 \text{ W/cm}^2$, eingestellt. Oberhalb dieser Intensität erwärmt die absorbierte Laserstrahlung das Material soweit, dass dieses schmilzt

und die Verdampfungstemperatur erreicht. Durch einen Rückstoßdruck, den der abströmende Metaldampf beim Phasenübergang erzeugt, wird eine Dampfkapillare ausgebildet. Diese Kapillare ermöglicht ein tiefes Eindringen der Laserstrahlung in das Material. Die Energie der Laserstrahlung wird je nach Dampfdichte und Ionisationsgrad des Metaldampfes bevorzugt an der Schmelzfilmoberfläche der Kapillare und ggf. zusätzlich durch inverse Bremsstrahlung innerhalb des Plasma absorbiert und über Wärmeleitung in das Material eingeleitet. Ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Rückstoßdruck des Metaldampfes und dem Staudruck der Schmelzströmung ermöglicht die dauerhafte Aufrechterhaltung der Kapillare während des Schweißprozesses. Dadurch lassen sich Schweißnahtaspektverhältnisse (Verhältnis von Tiefe zu Breite der Schweißnaht) erzielen, deren Werte wesentlich größer als 1 sind, beispielsweise in einem Bereich von 1 bis 4. Der aus der Dampfkapillare ausströmende Metaldampf, wird durch den Einsatz eines Schutzgas gekühlt, um Energieverluste der einfallenden Laserstrahlung durch inverse Bremsstrahlung oder Brechung zu minimieren. Als "inverse Bremsstrahlung" wird der Intensitätsverlust der Laserstrahlung beim Durchdringen des Oberflächenplasmas infolge der Beschleunigung von freien Elektronen durch Absorption von Photonenenergie bezeichnet. Zur Erzeugung des Laserstrahls wird bevorzugt ein CO₂-Laser eingesetzt.

Aufgrund der Tatsache, dass der Laserstrahl einen größeren Bereich als die tatsächliche Schweißlinie überstreicht, wird die eingebrachte Streckenenergie in so vorteilhafter Weise beeinflusst, dass auf ein Vorwärmen bzw. Sekundärwärmen verzichtet werden kann und gleichwohl Schweißnähte erzeugbar sind, die hohen dynamischen Beanspruchungen standhalten. Dies ist damit zu begründen, dass die Abkühlgeschwindigkeiten der Schmelze in der Schweißnahtflanke zur Schweißnahtmitte hin reduziert werden können und der unerwünschte Effekt der Riss- bzw. Porenbildung vermieden wird. Das hat nun beispielsweise den Vorteil, dass die Ausbildung einer solchen Schweißnaht in härtbaren Stahl mit einem Kohlen-

stoffgehalt oberhalb von 0,3 % oder sogar oberhalb von 0,5 % in einer Fertigungslinie direkt und schnell geschweißt werden kann, wobei einerseits auf häufig vorhandene Bearbeitungsstationen zurückgegriffen werden kann und eine zeitintensive Vorwärmung bzw. Sekundärwärmung vermieden wird.

5

Das Abkühlen der erhitzten Teilbereiche des Stahls erfolgt in der Regel ohne weitere technische Maßnahmen an der Umgebungsluft, unter Umständen kann jedoch noch ein Schutzgas bereitgestellt werden, um die Qualität der Schweißnaht gerade im Hinblick auf die Porenbildung bzw. Rissbildung weiter zu unterstützen.

10

Gemäß einer Ausgestaltung des Verfahrens umfasst Schritt b) eine Relativbewegung des Laserstrahls bezüglich der Schweißlinie mit einer Vorschubgeschwindigkeit, wobei diese Relativbewegung von einer Sekundärbewegung überlagert wird. Die Relativbewegung des Laserstrahls bezüglich der Schweißlinie kann infolge einer Bewegung des Lasers und/oder des mit der Schweißnaht zu versehenen Bauteils generiert werden. Mit „Vorschubgeschwindigkeit“ ist dabei die Geschwindigkeitskomponente der Relativbewegung gemeint, die in Richtung der Schweißlinie zeigt. Wird beispielsweise ein rundes Bauteil mit einer Schweißnaht versehen, wobei ein feststehender Laser auf das rotierende Bauteil gerichtet ist, so wird die Vorschubgeschwindigkeit der Relativbewegung durch die Drehzahl bzw. Rotationsgeschwindigkeit des Bauteils bestimmt. Diese Vorschubgeschwindigkeit ist regelmäßig während des gesamten Schweißprozesses konstant. Sie kann jedoch gerade auch bei sich ändernden Bauteilgeometrien (z.B. unterschiedliche Wärmeableitung, unterschiedliche Materialdicke, unterschiedliche Schweißnahtdicke,...) während eines Schweißvorganges variieren, um die Streckenenergie entsprechend ein einstellen zu können. Die Vorschubgeschwindigkeit liegt hierbei z.B. in einem Bereich von 0,5 m/min bis 5,0 m/min [Meter pro Minute].

15
20
25

Zusätzlich zu dieser Relativbewegung wird nun eine Sekundärbewegung verwirklicht. Auch hierbei ist es grundsätzlich unerheblich, ob diese durch den Laser oder das Bauteil realisiert wird, bevorzugt ist jedoch ein Prozess, wobei die Sekundärbewegung vom Laserstrahl ausgeführt wird. Dabei ist es möglich, den Laserstrahl erzeugenden, Laser selbst zu bewegen, es ist aber vielfach technisch einfacher, den Laserstrahl beispielsweise durch Einsatz von Spiegeln oder ähnlichem abzulenken, so dass er die gewünschte Sekundärbewegung ausführt.

In diesem Zusammenhang ist es besonders vorteilhaft, wenn die Sekundärbewegung eine Pendelbewegung bezüglich der Schweißlinie ist. Die Pendelbewegung kann in Richtung der Schweißlinie ausgeführt werden, bevorzugt ist jedoch eine Pendelbewegung, die schräg bzw. quer zur Schweißlinie ausgeführt wird. Durch eine solche Pendelbewegung kann erreicht werden, dass im Randbereich der Schweißnaht eine höhere thermische Energie eingebracht wird (z.B. aufgrund der Trägheit eines den Laserstrahl ablenkenden Schwingspiegels in den Umkehrpunkten), wodurch die Abkühlgeschwindigkeiten im Randbereich der Schweißnaht im härtbaren Stahl reduziert werden. Dadurch wird auch die Rissbildung in erheblichem Umfang reduziert.

Außerdem wird auch vorgeschlagen, dass die Sekundärbewegung während der Ausbildung der Schweißnaht variiert. Die Sekundärbewegung lässt sich beispielsweise mit einer Amplitude, einer Mittellage, einer Frequenz, etc. beschreiben. Aufgrund der Möglichkeit, genau diese Parameter zumindest teilweise und gegebenenfalls zeitweise während der Ausbildung der Schweißnaht zu variieren, kann auf die gerade im Umfeld der Schweißnaht herrschenden bauteilbezogenen Massenverhältnisse, Wärmeleitung, etc. reagiert werden. Somit lässt sich wiederum eine gezielte Abkühlung des härtbaren Stahls im Bereich der Schweißnaht einstellen.

Weiterhin auch eine Lateralbewegung der Strahlachse senkrecht zur Schweißlinie bei Ausbildung einer radialrunden Schweißbahn möglich. Mit Lateralbewegung ist insbesondere eine Komponente der Relativbewegung gemeint, die sich in dem hier beschriebenen Fall folglich aus einer in Umfangsrichtung weisende und einer in laterale Richtung weisende Bewegungskomponente zusammensetzt. Das führt beispielsweise zu einer spiralförmigen Ausgestaltung der Schweißnaht bei einem runden Werkstück. So entsteht eine zweite Schweißbahn ohne Unterbrechung unmittelbar neben der ersten. Es bildet sich dabei ein fließender Übergang mit einer sich überschneidenden Schweißung aus, die angepasst an die vorliegenden Massenverhältnissen und werkstoffspezifischen Wärmeleitfähigkeiten zu einer erhöhten Streckenergie und somit zu gezielter Abkühlung des härtbaren Stahls im Bereich der Schweißnaht führt.

Außerdem ist ggf. noch ein Abwinkeln der Strahlachse möglich, womit insbesondere ein nicht senkrecht auftreffen des Laserstrahls auf die Oberfläche des Werkstücks gemeint ist. Der Winkel bevorzugt spitze Winkel zwischen Strahlrichtung und Schweißlinie kann in Schweißrichtung und/oder auch quer dazu gebildet werden. Damit kann ein Auftreffen der Laserstrahlung auf der Schweißlinie in Richtung größerer Masseansammlungen oder höherem Kohlenstoffgehaltes des Bauteils bewirkt werden. Ebenfalls ändert sich die Strahltaillenform von rund nach oval, wodurch die Leistungsdichte zusätzlich angepasst werden kann. Demnach erfolgt eine Energieeinbringung, mit der die Abkühlgeschwindigkeiten in den kritischen Bauteilbereichen weiter reduziert werden kann.

Nach einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens durchdringt der Laserstrahl den härtbaren Stahl zumindest zeitweise. Bevorzugt handelt es sich dabei um ein sogenanntes Tiefschweißen bzw. „keyhole welding“. Dabei kommen Bauteile in Betracht, die beispielsweise eine Wanddicke im Bereich von 2,0 bis 10,0 mm aufweisen.

Außerdem wird weiter vorgeschlagen, dass die Schweißnaht mit einer Breite von mindestens 1,0 mm [Millimeter] erzeugt wird. Bevorzugt weist die Schweißnaht eine Breite von mindestens 1,5 mm oder sogar von mindestens 3,0 mm auf. Diese
5 Schweißnaht ist gegenüber normalen Laser-Schweißnähten dicker ausgeführt, was beispielsweise aufgrund einer Pendelbewegung quer bzw. schräg zur Schweißlinie bewirkt wird. Als weitere Alternative ist es möglich, neben der Schweißlinie parallele Schweißbahnen in relativ kurzem Zeitraum abzufahren um eine solche breite Schweißnaht zu generieren. Die Breite der Schweißnaht ist insbesondere
10 nahe der Oberfläche des Stahls zu bestimmen, von der aus die Schweißung durchgeführt wurde. Für den Fall, dass eine das Bauteil durchdringende Schweißung durchgeführt wurde, liegt die Breite auf der abgewandten Seite in einem Bereich, der unter Umständen deutlich kleiner als die oben genannte Breite ist.

15 Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird die Schweißnaht zur fügetechnischen Verbindung von mindestens zwei Komponenten erzeugt. Auf diese Weise können also stoffschlüssige Verbindungen von mehreren Komponenten aus härtbarem Stahl hergestellt werden, die auch hohen dynamischen Wechselbeanspruchungen standhalten können. Dabei ist es möglich, dass die zwei
20 Komponenten voneinander unterschiedliche, gleichwohl aber härtbare Stähle umfassen. Es ist auch möglich, dass beispielsweise nur eine der Komponenten einen härtbaren Stahl aufweist. Hierbei können beispielsweise die Variationsmöglichkeiten der Sekundärbewegung ausgenutzt werden, unterschiedliches thermisches Verhalten der zu fügenden Komponenten auszugleichen.

25 Weiter ist es vorteilhaft, die Schweißnaht durch Radialrundumschweißen zu erzeugen. Damit ist ein Schweißverfahren gemeint, bei dem bei Hohlprofilen eine über den Umfang geschlossene Schweißnaht erzeugt wird. Der Laser wird dabei in radialer Richtung rundum um das Bauteil bzw. die Bauteile relativ bewegt. Ein

solches Verfahren bietet sich beispielsweise bei der stirnseitigen Verbindung von Hohlwellen oder ähnlichen Bauteilen an.

5 Erfindungsgemäß wird nun auch eine Verbindung von mindestens zwei Komponenten zur Drehmomentübertragung aus härtbarem Stahl vorgeschlagen, wobei die Verbindung mindestens eine Schweißnaht ist, hergestellt mit dem vorstehend beschriebenen, erfindungsgemäßen Verfahren. Die Verbindung bzw. der Verbund dieser zweier Komponenten kann beispielsweise zur Drehmomentübertragung in Antriebssystemen eines Automobils eingesetzt werden. Damit ist die Möglichkeit
10 geschaffen, die Komponenten nachträglich auch einem Härteprozess zuzuführen, um den dort herrschenden, insbesondere statischen, Belastungen standzuhalten.

Eine solche Verbindung hat sich insbesondere als vorteilhaft erwiesen, wenn zumindest eine der Komponenten einer Hohlwelle mit einer Wandstärke im Bereich
15 von 2,0 mm bis 10,0 mm ist. Bevorzugt weisen beide Komponenten im Bereich um die Verbindung herum einen Aufbau auf, der der einer Hohlwelle ähnlich ist. Bevorzugt liegen dann beide Hohlwellen mit einer Wandstärke in diesem Bereich vor, wobei eine stirnseitige Verbindung ausgeführt wird.

20 Gerade in diesem Zusammenhang ist es vorteilhaft, dass die Schweißnaht über die gesamte Wanddicke ausgebildet ist. Hierbei kann beispielsweise durch das Tieflochschiessen mittels Laser eine dauerhafte Verbindung generiert werden.

Weiter wird vorgeschlagen, dass die Verbindung sowie angrenzende Teilbereiche
25 der Komponenten rissfrei ausgeführt sind. Mit „rissfrei“ ist gemeint, dass die Verbindung keine so genannten Makro-Risse ausweist, also Risse, die eine Größe haben, dass sie mit bloßem Auge erkennbar sind. Kleinere, so genannte Mikro-Risse (die Länge dieser Risse liegt häufig nur im Bereich eines Korndurchmessers des Materials und sie sind nur mit mikroskopischen (metallografischen) Verfahren

erkennbar) treten hierbei auch nur in einem akzeptablen Umfang auf. Ein „Riss“ im vorliegenden Sinn ist eine begrenzte Werkstofftrennung mit überwiegend zweidimensionaler Ausdehnung, die im Schweißgut, in der Wärmeeinflusszone und/oder im Grundwerkstoff auftreten kann, insbesondere auf Grund von Eigenspannungen. Von einem „Riss“ zu unterscheiden sind beispielsweise Hohlräume, Gaseinschlüsse, Poren, Lunker, Feststoffeinschlüsse oder andere Fehler einer Schweißnaht. Auch wenn selbstverständlich die von Rissen zu unterscheidenden Fehler einer Schweißnaht möglichst zu vermeiden sind, wird hier vordergründig auf die (Makro-)Rissfreiheit abgezielt, da Risse wohl die gefürchtetste und am schwersten vermeidbare Fehlerart ist, die eine nachträgliche Reparatur unumgänglich macht. Dies war bislang auch der Grund, dass hoch-kohlenstoffhaltige Stähle nur mit einer Sekundärerwärmung geschweißt wurden. Das erfindungsgemäße Verfahren rückt von dieser Vorstellung erstmalig ab und gewährleistet dennoch über eine große Anzahl von Schweißvorgängen eine hohe Schweißqualität.

Die eine erfindungsgemäß ausgeführte Schweißnaht hält insbesondere den folgenden Belastungen stand:

- dynamische langzeitige Wechsellastbeanspruchung mit 300.000 Schwingzyklen, bei einem Moment von +/- 1100 Nm und/oder +/- 1650 Nm; und/oder
- statische Torsionsbelastung mit einem Bruchmoment kleiner oder gleich 3200 Nm.

Insbesondere im Hinblick auf den Einsatz einer solchen Verbindung im Automobilbau ist es bevorzugt, dass die Verbindung eine Duktilität im Bereich von 250 HV bis 650 HV aufweist, insbesondere im Bereich von 400 HV bis 600 HV. Damit ist gemeint, dass die Verbindung bzw. Schweißnaht nach dem Härteprüfverfahren von Vickers zu dem vorstehend genannten Ergebnis führt.

Wie bereits mehrfach angedeutet, liegt der bevorzugte Einsatz des Verfahrens bzw. der Verbindung im Automobilbereich. Aus diesem Grund wird auch ein Fahrzeug umfassend einen Motor mit einem Antriebssystem vorgeschlagen, wobei das Antriebssystemkomponenten zur Drehmomentübertragung aufweist und
 5 mindestens zwei Komponenten mit einem erfindungsgemäßen Verfahren miteinander verschweißt wurden, oder das Fahrzeug eine erfindungsgemäße Verbindung aufweist.

Beispiel einer entsprechenden fügetechnischen Verbindung:

10

Verfahren

Material Komponente A:	Ck 35 (kohlenstoffhaltiger Einsatzstahl mit ca. 0,35% (Massenprozent) Kohlenstoff)
Wandstärke Komponente A:	5,0 mm
Material Komponente B:	Cf 53 (Vergütungsstahl mit ca. 0,53% Kohlenstoff)
Wandstärke Komponente B:	6,0 mm
Laserart:	CO ₂ -Laser
Laser-Intensität:	kleiner $3,33 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, insbesondere mit einem Fokussierspiegel mit einer Brennweite $F = 270,0 \text{ mm}$
Laser-Vorschub:	1,6 m/min
Sekundärbewegung:	Schwingfrequenz des Fokussierspiegels von 30 Hz [1/Sekunde]; Amplitude von 1,5 mm
Zusatzstoff:	----

Verbindung

Abmessung der Schweißnaht:	Tiefe: ca. 6,0 mm Breite: ca. 3,0 mm Länge: ca. 100,0 mm
Rissfreiheit	ja

Die Erfindung sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand von Figuren näher erläutert. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Figuren besonders bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung zeigen, diese jedoch nicht darauf begrenzt ist.

Es zeigen:

10

Fig. 1: schematisch den Aufbau für eine Ausführungsvariante des Schweißverfahrens;

15

Fig. 2: eine Ausführungsvariante der Verbindung im Querschnitt gefügter Komponenten;

Fig. 3: eine erste Ausführungsvariante einer Schweißbahn;

20

Fig. 4: eine zweite Ausführungsvariante einer Schweißbahn;

Fig. 5: eine dritte Ausführungsvariante einer Schweißbahn;

Fig. 6: eine vierte Ausführungsvariante einer Schweißbahn; und

25

Fig. 7: schematisch ein Antriebssystem eines Fahrzeugs.

Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und können nur begrenzt zur Veranschaulichung der tatsächlichen Größenverhältnisse herangezogen werden.

5 Fig. 1 zeigt schematisch und perspektivisch eine Komponente 7, bezüglich der eine Schweißnaht 1 ausgebildet wird. Zur Erzeugung der Schweißnaht 1 auf der Komponente 7, die härtbaren Stahl umfasst, wird zunächst der aus dem Laser 21 austretende Laserstrahl 2 zur Schweißlinie 3 positioniert. Bei Aktivierung des Lasers 2 werden Teilbereiche des Stahls mittels des Laserstrahls 2 erhitzt. Zur
10 Erzeugung einer Relativbewegung des Laserstrahls 2 bezüglich der Schweißlinie 3 wird die Komponente 7 in Rotation 22 versetzt. Zur Herstellung einer rissfreien Schweißnaht 1 wird nun der Laserstrahl 2 entlang einer Schweißbahn 5 geführt, die länger als die Schweißlinie 3 ist. Durch die Überlagerung einer Sekundärbewegung wird die hierfür erforderliche Streckenergie eingebracht.

15

Fig. 2 zeigt schematisch und in einem Querschnitt eine schweißtechnische Verbindung 8, die nach dem beschriebenen Verfahren hergestellt wurde. Die Verbindung 8 ist als durchgehende Schweißnaht 1 zuzüglich zweier, benachbart zueinander angeordneter Komponenten 7 ausgeführt. Die links dargestellte Komponente 7 weist ein rotationssymmetrisches Hohlprofil auf. Die rechte Komponente 7
20 weist ebenfalls einen rohrähnlichen Abschnitt auf, der jedoch in ein massives Endstück übergeht. Beide Komponenten 7 umfassen einen härtbaren Stahl. Aufgrund unterschiedlichen der Abmessungen der der Schweißnaht 1 benachbarten Komponenten 7 ist auch ein unterschiedliches thermisches Verhalten zu erwarten,
25 dass durch das hier beschriebene Verfahren kompensiert werden kann.

Zur Ausbildung der Schweißnaht 1 werden die Komponenten 7 in Teilbereichen 4 durch einen Laser 2 (nicht dargestellt) so erhitzt, dass der Stahl zumindest teilweise in einen schmelzartigen Zustand übergeht. Durch eine Sekundärbewegung wird

in den Teilbereichen 4 eine reduzierte Abkühlgeschwindigkeit ermöglicht, so dass die Rissbildung vermieden wird. Die Sekundärbewegung führt jedoch auch dazu, dass relativ große Schweißnähte 1 generiert werden, beispielsweise mit einer Breite 6 im Bereich von 1,5 bis 3,0 mm. Bei der hier dargestellten Ausführungs-
5 variante wurde die Schweißnaht 1 als Radialrundnaht ausgebildet, wobei sich diese über die gesamte Wandstärke 9 der Komponenten 7 erstreckt.

Fig. 3 zeigt schematisch die Überlagerung der Schweißlinie 3 und der tatsächlichen Schweißbahn 5. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass trotz der Bereitstellung
10 einer Sekundärbewegung eine einheitliche, in Richtung der Schweißlinie 3 verlaufende Schweißnaht 1 gebildet wird. Diese weist eine gegenüber üblichen Schweißnähten in Folge einer Lasereinwirkung vergrößerte Breite 6 auf.

Bei der in Fig. 3 veranschaulichten Sekundärbewegung 14 werden sowohl Bewegungen in Richtung der Vorschubgeschwindigkeit 13, als auch entgegengesetzt
15 bzw. quer dazu verwirklicht.

In Fig. 4 ist die Sekundärbewegung 14 mit einer im wesentlichen eindimensionalen Pendelbewegung senkrecht zur Vorschubgeschwindigkeit 13 verwirklicht.
20 Eine Variation wird jedoch dadurch erreicht, dass die Vorschubgeschwindigkeit 13 und/oder die Amplitude 23 der Sekundärbewegung 14 verändert wird. Damit kann auf unterschiedliches thermisches Verhalten der Komponenten 7 im Bereich der Schweißnaht 1 eingegangen werden.

25 Fig. 5 veranschaulicht wiederum eine Sekundärbewegung 14, die im wesentlichen senkrecht zur Vorschubgeschwindigkeit 13 ausgeführt wird. Als Besonderheit ist hier dargestellt, dass die Amplitude 23 der Sekundärbewegung 14 verändert wird, wobei die Vorschubgeschwindigkeit 13 gleich bleibt. Gleichzeitig ist die Mittellage 24 der Sekundärbewegung 14 zur Schweißlinie 3 versetzt.

Fig. 6 veranschaulicht eine Lateralbewegung 26 der Strahlachse 2 senkrecht zur Schweißlinie 3 bei Ausbildung einer radialrunden Schweißbahn 5. Eine zweite Schweißbahn 5 entsteht ohne Unterbrechung der Relativbewegung unmittelbar neben der ersten Schweißbahn 5. Es bildet sich eine im fließenden Übergang, überschneidende Schweißung aus. Für die Herstellung der Schweißnaht 1 bezüglich der dargestellten Komponenten 7 ist der Laser 21 mit einem Winkel 26 zur Oberfläche der Komponenten bzw. der Schweißnaht 1 ausgerichtet, also nicht senkrecht dazu. Dieses Mittel kann ebenfalls zur gezielten Einbringung von Schweißenergie in die Komponenten 7 eingesetzt werden.

Im Hinblick auf die Darstellungen von Fig. 3, 4, 5 und 6 ist darauf hinzuweisen, dass die einzelnen Ausgestaltungen der Vorschubgeschwindigkeit 13 bzw. der Sekundärbewegung 14 beliebig miteinander kombiniert werden können.

Aus Fig. 7 ist ein Antriebssystem 12 für ein vierradgetriebenes Fahrzeug 10 erkennbar. In diesem Fall werden durch einen Motor 11 alle vier Räder 16 angetrieben. Im Bereich der Vorderachse und unter dem angedeuteten Motor 11 ist ein Getriebe 17 erkennbar. Im Bereich der Hinterachse ist ebenfalls ein Achsgetriebe 17 erkennbar. Zum Antrieb der Räder 16 dienen Seitenwellen 15. Die Verbindung zwischen den Getrieben 17 wird durch eine Gelenkwellenanordnung bereitgestellt, welche zwei Wellen 19 umfasst. Diese ist durch ein etwa mittig angeordnetes Zwischenlager 20 zusätzlich an der Bodengruppe des Fahrzeugs 10 gelagert. Die Gelenkwellenanordnung weist in einem ersten Gelenkwellenabschnitt ein nahe zum vorderen Getriebe 17 angeordnetes erstes Gelenk 18 in Form eines Gleichlauffestgelenks auf. Zur Verbindung der beiden Gelenkwellenabschnitte ist ein zweites Gelenk 18 mittig in Form eines Gleichlauffestgelenks vorgesehen. Am Ende des zweiten Gelenkwellenabschnittes ist ein drittes Gelenk 18 in Form eines Gleichlauffestgelenks angeordnet, das über Verbindungsmittel mit dem Getriebe

17 der Hinterachse verbunden ist. Die Wellen 19 bzw. Gelenkwellenabschnitte rotieren bei den meisten Anwendungsfällen mit einer Drehzahl, die über der in das Schaltgetriebe oder Automatikgetriebe durch den Motor 11 eingeleiteten liegen. Die Untersetzung erfolgt im Bereich des hinteren Getriebes 17 nahe der Hinterachse. Während beispielsweise die Wellen 19 und die zugehörigen Gelenke 18 Drehzahlen bis 10.000 U/min ausführen müssen, liegen die Drehzahlen der Seitenwellen 15 zum Antrieb der Räder in der Größenordnung bis 2.500 U/min.

Die erfindungsgemäßen Verbindungen werden bevorzugt bezüglich folgender Bauteile eingesetzt:

- Gelenkwellensystemkomponenten die gefügt werden, wie z.B.:
 - o Rohrwelle/Vollwelle
 - o Rohrwelle/Gelenkaußenteil
 - o Rohrwelle/Zapfen
 - 15 o Rohrwelle/Gelenkinnenteil (z.B.: Nabe)
 - o Gelenkaußenteil/Gehäusedeckel
 - o Gelenkaußenteil/Flansch –z.B.: Getriebeflansche
 - o Gelenkscheibe/Gelenkboden
 - o Verschiebehülse/Wellenzapfen
- 20 - Differential- / Getriebesysteme
 - o Zahnrad/Zahnrad
 - o Rohrwelle/Zahnrad
 - o Gehäuse/Gehäusedeckel
 - o Zapfen/Gehäusedeckel

25

Bezugszeichenliste

	1	Schweißnaht
5	2	Laserstrahl
	3	Schweißlinie
	4	Teilbereich
	5	Schweißbahn
	6	Breite
10	7	Komponente
	8	Verbindung
	9	Wandstärke
	10	Fahrzeug
	11	Motor
15	12	Antriebssystem
	13	Vorschubgeschwindigkeit
	14	Sekundärbewegung
	15	Seitenwelle
	16	Rad
20	17	Getriebe
	18	Gelenk
	19	Welle
	20	Zwischenlager
	21	Laser
25	22	Rotation
	23	Amplitude
	24	Mittellage
	25	Lateralbewegung
	26	Winkel

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht (1) in härtbaren Stahl umfassend zumindest die folgenden Schritte:
- a) Positionieren eines Laserstrahles (2) zu einer Schweißlinie (3);
 - b) Erhitzen von Teilbereichen (4) des Stahls mittels des Laserstrahls (2), wobei der Laserstrahl (2) entlang einer Schweißbahn (5) geführt wird, die
10 länger ist als die Schweißlinie (3);
 - c) Abkühlen der erhitzten Teilbereiche (4) des Stahls.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt b) eine Relativbewegung des Laserstrahls (2) bezüglich der Schweißlinie (3) mit einer Vorschubgeschwindigkeit (13) umfasst, wobei diese Relativbewegung von einer Sekundärbewegung (14) überlagert wird.
15
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Sekundärbewegung (14) eine Pendelbewegung bezüglich der Schweißlinie (3) ist.
20
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem die Sekundärbewegung (14) während der Ausbildung des Schweißnaht (1) variiert.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Laserstrahl (2) den härtbaren Stahl zumindest zeitweise durchdringt.
25
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schweißnaht (1) mit einer Breite (6) von mindestens 1,0 mm erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schweißnaht (1) zur fügetechnischen Verbindung von mindestens zwei Komponenten (7) erzeugt wird.
- 5 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schweißnaht (1) durch Radialrundumschweißen erzeugt wird.
9. Verbindung (8) von mindestens zwei Komponenten (7) zur Drehmomentübertragung aus härtbarem Stahl, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung (8) mindestens eine Schweißnaht (1) ist, hergestellt mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
- 10 10. Verbindung (8) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der Komponenten (7) eine Hohlwelle mit einer Wandstärke (9) im Bereich von 2,0 mm bis 10,0 mm ist.
- 15 11. Verbindung (8) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Schweißnaht (1) über die gesamte Wandstärke (9) ausgebildet ist.
- 20 12. Verbindung (8) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung (8) sowie angrenzende Teilbereiche (4) der Komponenten (7) rissfrei ausgeführt sind.
- 25 13. Verbindung (8) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung (8) eine Duktilität im Bereich von 250 HV bis 650 HV aufweist.
14. Fahrzeug (10) umfassend einen Motor (11) mit einem Antriebssystem (12), dadurch gekennzeichnet, dass das Antriebssystem (12) Komponenten (7) zur

Drehmomentübertragung aufweist und mindestens zwei Komponenten (7) mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 miteinander verschweißt wurden, oder dass das Fahrzeug (10) eine Verbindung (8) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 13 aufweist.

5

Zusammenfassung

Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht (1) in härtbaren Stahl umfassend
5 zumindest die folgenden Schritte:

- a) Positionieren eines Laserstrahles (2) zu einer Schweißlinie (3);
- b) Erhitzen von Teilbereichen (4) des Stahls mittels des Laserstrahls (2), wobei der Laserstrahl (2) entlang einer Schweißbahn (5) geführt wird, die länger ist als die Schweißlinie (3);
- 10 c) Abkühlen der erhitzten Teilbereiche (4) des Stahls.

Bei diesem Schweißverfahren werden rissfreie Schweißverbindungen realisiert, wobei auf eine Sekundärerwärmung des härtbaren Stahls verzichtet wird. Ein bevorzugtes Einsatzgebiet solcher Schweißnähte liegt bei der Verbindung von Komponenten des Antriebsstranges von Automobilen.

15

Fig. 1

FIG. 1

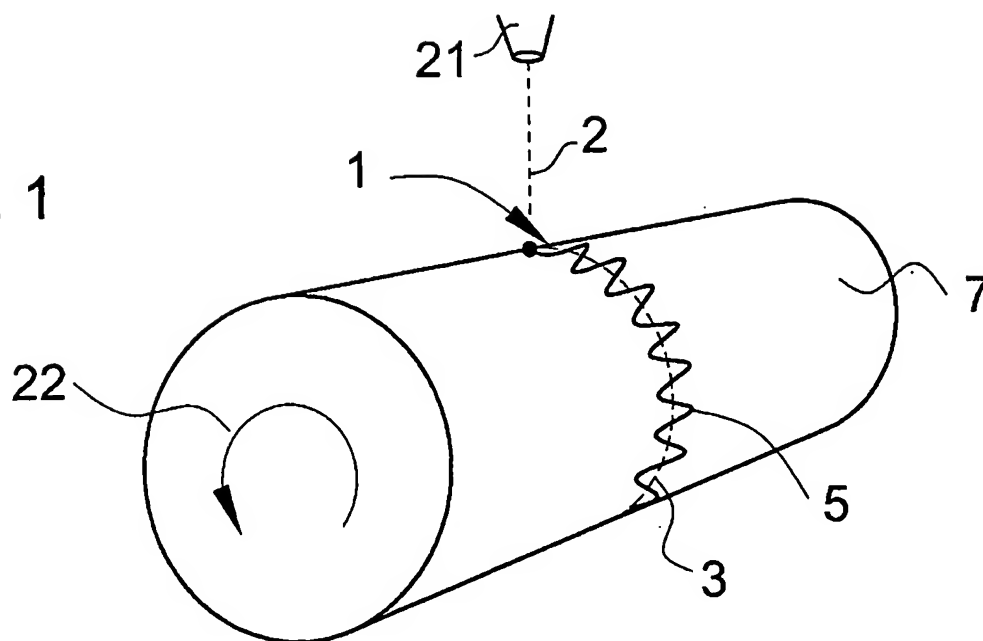


FIG. 2

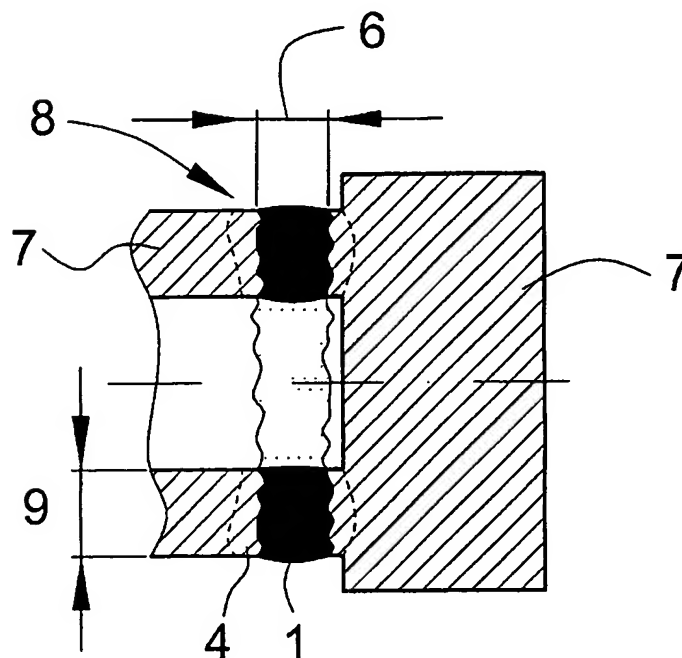


FIG. 3

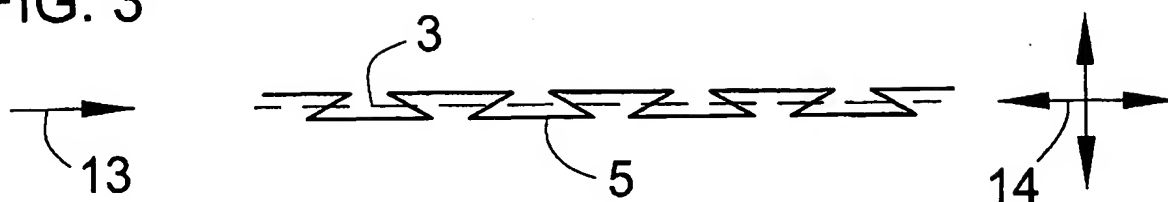


FIG. 4

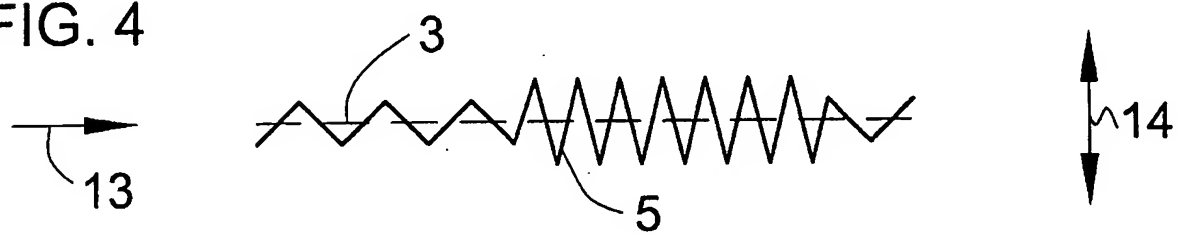


FIG. 5

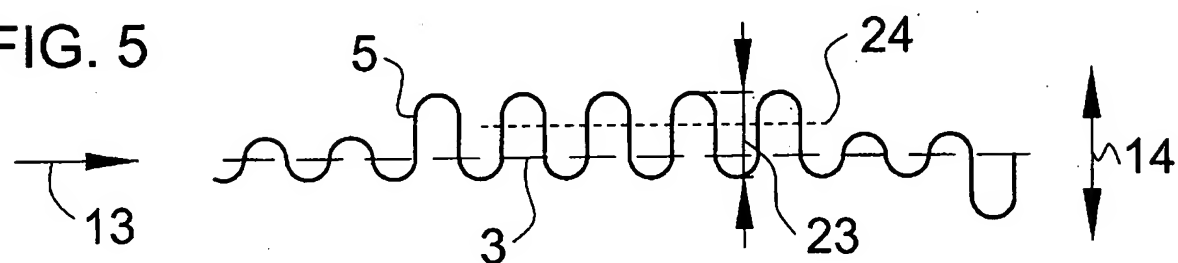


FIG. 6

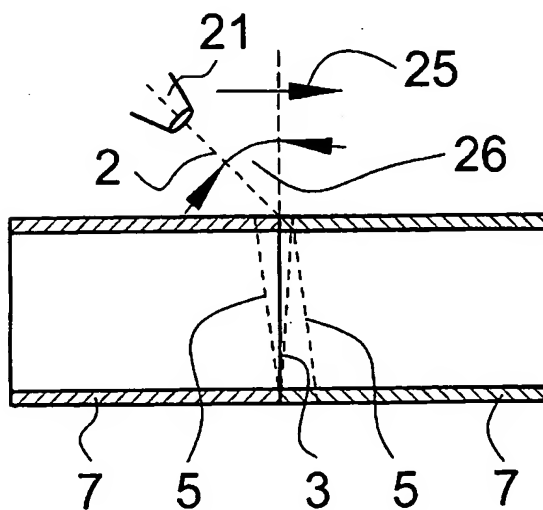
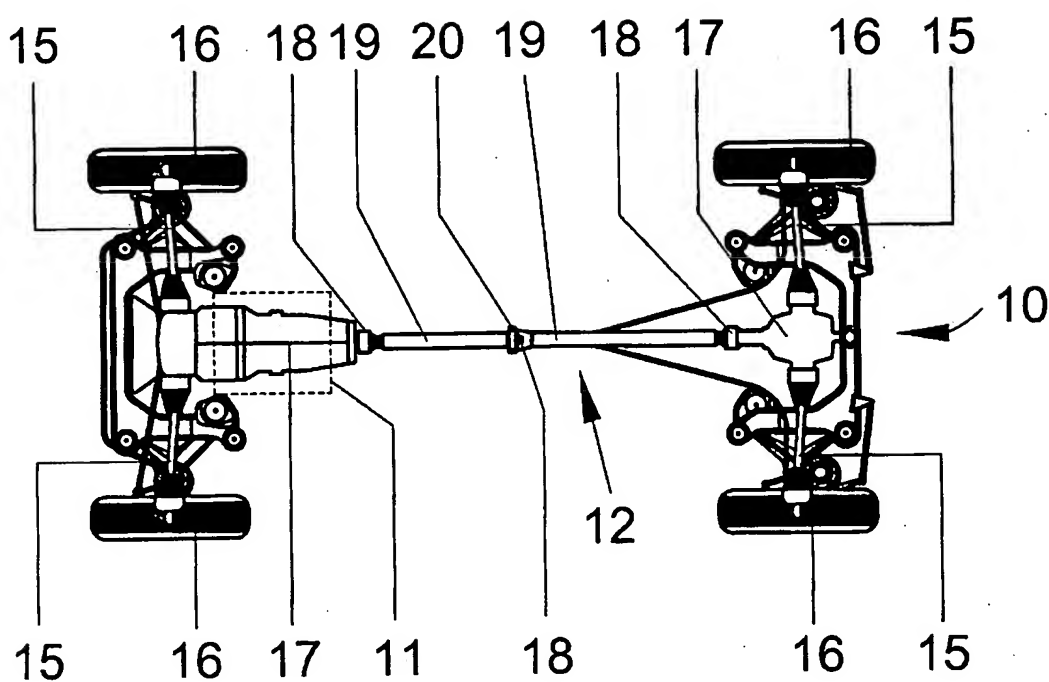


FIG. 7



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.